

网络出版时间:2018-06-15 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.12.003

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180615.1606.006.html>

饲料碳水化合物水平对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫的影响

瞿子惠¹, 吴莉芳¹, 周 锴¹, 杨 兰¹, 祖岫杰², 王婧瑶¹, 段 晶¹

(1 吉林农业大学 动物科学技术学院, 吉林 长春 130118; 2 吉林省水产科学研究院, 吉林 长春 130033)

【摘 要】【目的】探讨饲料中添加不同水平碳水化合物对洛氏鲮(*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)生长、饲料利用及非特异性免疫的影响。【方法】选取洛氏鲮幼鱼((7.64 ± 0.04) g/尾)为研究对象, 配制 5 种等氮(360.0 g/kg)、等脂肪(60.0 g/kg)及碳水化合物水平分别为 0.0% (对照组), 10.0%, 16.0%, 22.0% 和 28.0% 的试验饲料, 在控温单循环养殖系统中进行为期 8 周的饲养试验。试验结束后测算洛氏鲮生长性能指标, 并采用国际标准方法测定洛氏鲮肌肉主要营养成分, 采用试剂盒测定洛氏鲮肝胰脏中碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、超氧化物歧化酶(SOD)和溶菌酶(LZM)的活性。【结果】在本试验条件下, 洛氏鲮终末体质量、体质量增加率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率均随碳水化合物水平的升高呈先增加后降低的趋势, 其中以 16.0% 碳水化合物水平组最高, 其洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率显著高于对照组($P < 0.05$)。用折线回归模型拟合得出, 当体质量增加率达到最大时, 饲料中碳水化合物最适水平为 15.84%; 当特定生长率达到最大时, 饲料中碳水化合物最适水平为 15.94%。28.0% 碳水化合物水平组洛氏鲮肌肉中粗脂肪含量显著高于对照组($P < 0.05$), 其他组与对照组差异不显著($P > 0.05$); 除 10.0% 和 16.0% 碳水化合物水平组粗蛋白质含量与对照组差异不显著($P > 0.05$)外, 其他组显著低于对照组($P < 0.05$); 洛氏鲮肝胰脏的 AKP、LZM 和 ACP 活性随饲料碳水化合物的增加呈先上升后下降趋势, 其中 16.0%, 22.0%, 28.0% 组 AKP 和 ACP 活性均显著高于对照组($P < 0.05$), 22.0% 和 28.0% 组肝胰脏的 LZM 活性显著高于对照组($P < 0.05$); SOD 活性随碳水化合物水平的升高呈下降趋势, 且 10.0%, 16.0%, 22.0%, 28.0% 组均显著低于对照组($P < 0.05$)。【结论】在本试验条件下, 洛氏鲮幼鱼配合饲料中适宜的碳水化合物水平为 15.84%~15.94%。

【关键词】 洛氏鲮; 碳水化合物; 生长; 饲料利用; 非特异性免疫

【中图分类号】 S965.199.37

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)12-0020-07

Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance, feed utilization and non-specific immunity indexes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

QU Zihui¹, WU Lifang¹, ZHOU Kai¹, YANG Lan¹,
ZU Xiujie², WANG Jingyao¹, DUAN Jing¹

(1 College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 Fisheries Science Research Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance, feed utilization and non-specific immunity indexes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski were evaluated. 【Method】 *R. lagowskii* Dybowski with initial weight of (7.64 ± 0.04) g/tail were assigned to five groups

【收稿日期】 2017-09-20

【基金项目】 吉林省科技厅重点科技攻关项目(20160204019NY)

【作者简介】 瞿子惠(1995—), 女, 吉林农安人, 在读硕士, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 47992301@qq.com

【通信作者】 吴莉芳(1970—), 女, 吉林农安人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事水产动物营养与饲料研究。

E-mail: wulifang2915@126.com

fed with isonitrogenous (crude protein 360.0 g/kg and 60.0 g/kg lipid) formulated diets containing 0.0%, 10.0%, 16.0%, 22.0%, and 28.0% carbohydrates for 8 weeks. After the feeding trial, growth performance was calculated, muscle nutrients were determined using national standard methods, and activities of serum alkaline acid enzyme (AKP), acid phosphatase (ACP), superoxide dismutase (SOD) and lysozyme (LZM) were measured. 【Result】 In this experiment, with the increase of carbohydrate level, body weight, weight gain rate, feed efficiency ratio, specific growth rate and protein efficiency ratio increased initially and then decreased after the peaks at 16.0%, which had significantly higher body weight, weight gain rate and feed efficiency ratio than those in control group ($P < 0.05$). By the polyline regression model, weight gain rate reached the maximum at the carbohydrate level of 15.84% and specific growth rate reached the maximum at carbohydrate level of 15.94%. When the feed carbohydrate level was 28.0%, crude fat was significantly higher than that in control group ($P < 0.05$), while there was no significant difference between other groups and control group ($P > 0.05$). There was no significant difference in crude protein when the feed carbohydrate levels were 10.0% and 16.0% ($P > 0.05$), but crude protein in other groups was significantly higher than that in control group ($P < 0.05$). When the feed carbohydrate levels were 16.0%, 22.0% and 28.0%, the activities of AKP and ACP were significantly higher than those in control group ($P < 0.05$). When the feed carbohydrate levels were 22.0% and 28.0%, the activity of LZM in hepatopancreas was significantly higher than that in control group ($P < 0.05$). With the increase of carbohydrate level, the activity of SOD decreased, and it was significantly lower than that in control group when the feed carbohydrate levels were 10.0%, 16.0%, 22.0% and 28.0% ($P < 0.05$). 【Conclusion】 According to this experiment, the suitable carbohydrate level in formulated diets of juvenile *P. lagowskii* Dybowski is 15.84%—15.94%.

Key words: *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski; carbohydrate; growth performance; feed utilization; non-specific immunity

碳水化合物在鱼类饲料中是重要的廉价能源物质^[1], 其因聚合度差异分为单糖(果糖、葡萄糖等)、二糖(蔗糖、麦芽糖等)及多糖(淀粉、纤维素等)^[2]。在饲料中添加适量的碳水化合物可减少鱼类对蛋白质的消耗量, 减轻氮排泄对养殖水体的污染^[3]。鱼类适宜的碳水化合物需求量因鱼种类而异, 国内外学者对不同鱼类的碳水化合物需求量进行了研究。吴凡等^[1]研究表明, 吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼饲料中碳水化合物可添加到 41%。Leung 等^[4]提出, 黑鲷(*Sparus sarba*)饲料中添加碳水化合物水平应低于 20%。Hidalgo 等^[5]研究表明, 欧洲鳗鲡(*Arguilla anguilla*)能适应 20%~30%的碳水化合物。Wang 等^[6]在对石斑鱼(*Epinephelus akaara*)营养需求的研究中发现, 饲料中添加 7.64%的碳水化合物使鱼体增长率最大。Cowey 等^[7]研究表明, 欧鲈(*Pleuronectes platessa*)饲料中葡萄糖添加量应低于 20%。Helland 等^[8]研究发现, 大西洋鲑(*Salmo salar*)饲料中碳水化合物水平应低于 20%。Wilson 等^[9]研究表明, 斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)饲料中碳水化合物的最适添加量为 25%~30%。

洛氏鲮(*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)又称拉氏大吻鲮, 俗称柳根池, 隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、雅罗鱼亚科(Leuciscinae)、鲮属(*Phoxinus*)。关于洛氏鲮的生物学与繁殖力^[10-12]、生态环境学^[13-14]、人工繁殖与苗种培育技术^[15-16]、肌肉蛋白营养价值评价^[17]及胚胎发育^[18]等方面已有研究, 但关于洛氏鲮对碳水化合物需求方面鲜有报道。因此, 本试验以洛氏鲮幼鱼为研究对象, 以糊精为碳水化合物原料, 探讨不同碳水化合物水平对洛氏鲮幼鱼生长、饲料利用及非特异性免疫指标的影响, 旨在确定洛氏鲮幼鱼饲料中碳水化合物的适宜添加量, 进一步完善其营养生理, 为洛氏鲮饲料配制提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的制备

试验饲料蛋白原料为鱼粉、豆粕、菜粕和棉粕, 脂肪原料为玉米油、鱼油, 碳水化合物原料为糊精, 配制 5 种不同碳水化合物水平(0.0%(对照组), 10.0%, 16.0%, 22.0%, 28.0%)的等氮(360.0 g/kg)、等脂肪(60.0 g/kg)配合饲料。所需原料经

粉碎机粉碎后过 0.246 mm(60 目)筛,按表 1 配方 mm),晾干后于-20 ℃冰箱中保存备用。
设计,均匀搅拌后,挤压成颗粒配合饲料(直径 1.5

表 1 洛氏鲮不同碳水化合物水平饲料配方及其主要营养成分(风干基础)
Table 1 Different carbohydrate levels feed formulation and its main nutrients for
Rhynchocypris lagowskii Dybowski (air-dry basis)

配方及其营养组成 Ingredients and proximate composition		碳水化合物水平/% Carbohydrate level				
		0.0(CK)	10.0	16.0	22.0	28.0
配方成分 Ingredient	鱼粉/(g·kg ⁻¹)Fish meal	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0
	豆粕/(g·kg ⁻¹)Soybean meal	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0
	菜粕/(g·kg ⁻¹)Rapeseed meal	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	棉粕/(g·kg ⁻¹)Cottonseed meal	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	糊精/(g·kg ⁻¹)Dextrin	0.0	100.0	160.0	220.0	280.0
	微晶纤维素/(g·kg ⁻¹)Cellulose microcrystalline	288.2	188.2	128.2	68.2	8.2
	预混料/(g·kg ⁻¹)Premix	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	氯化胆碱/(g·kg ⁻¹)Choline chloride	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	玉米油/(g·kg ⁻¹)Corn oil	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
	鱼油/(g·kg ⁻¹)Fish oil	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
营养组成 Proximate composition	粗蛋白/(g·kg ⁻¹)Crude protein	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0
	粗脂肪/(g·kg ⁻¹)Crude lipid	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
	粗纤维/(g·kg ⁻¹)Crude fiber	289.6	199.6	145.6	96.0	37.5
	粗灰分/(g·kg ⁻¹)Ash	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6

1.2 试验鱼及饲养管理

1.2.1 试验鱼 饲养试验在吉林农业大学水产养殖基地控温养殖系统中完成。试验所需洛氏鲮幼鱼(体质量(7.64±0.04) g/尾)由吉林省敦化市名优水产良种场提供。饲养试验时间为期 8 周。试验分 5 组,每组设 3 个重复,每个重复放养洛氏鲮幼鱼 40 尾。放养前预饲 15 d,放养时用 4%食盐水药浴 5 min。

1.2.2 饲养管理 在饲养试验期间,养殖水温保持 22~24 ℃;每天换水 1 次,每次换水 1/4~1/3;水中溶解氧(DO)在 5.0 mg/L 以上,pH 为 7.0~8.0,亚硝酸盐质量浓度小于 0.05 mg/L,氨氮质量浓度小于 0.3 mg/L。日投饵率为 3%~4%,分 3 次(07:00,12:00,17:00)采取人工手撒的投饵方式进行投喂。

1.3 样品的收集与测定

1.3.1 生长性能指标的测定 饲养试验结束后,空腹 24 h,称体质量。然后每组活体解剖 8 尾洛氏鲮,测量其体长、内脏质量、肝胰脏质量。参考邢秀平等^[19]的方法计算如下指标:

体质量增加率(WG)=(m_t-m_0)/ $m_0\times100\%$,

肥满度(CF,g/cm³)= $m_t/L^3\times100$,

特定生长率(SGR)=(ln m_t -ln m_0)/ $t\times100\%$,

肝体比(VI)= $m_H/m_t\times100\%$,

饲料效率(FER)=(m_t-m_0)/ $m_1\times100\%$,

脏体比(HI)= $m_v/m_t\times100\%$,

蛋白质效率(PER)=(m_t-m_0)/ $m_1\times w_p\times100\%$ 。

式中: m_0 、 m_t 分别为初始和终末鱼体质量(g), t 为试验时间(d), L 为体长(cm), m_H 为肝胰脏质量(g), m_1 为摄入干饲料质量(g), m_v 为内脏质量(g), w_p 为饲料粗蛋白含量(%)。

1.3.2 肌肉营养成分的测定 饲养试验结束后,每组随机取洛氏鲮 20 尾,取侧线以上、背鳍以下的肌肉,保存于-20 ℃冰柜中备用。肌肉中粗灰分含量采用 550 ℃马福炉灼烧法(GB/T 18654—2008)测定,利用 105 ℃恒温烘干失重法(GB/T 18654—2008)测定水分含量,采用凯氏定氮法(GB/T 18654—2008)测定粗蛋白含量,利用索氏抽提法(GB/T 18654—2008)测定粗脂肪含量。

1.3.3 非特异性指标的测定 饲养试验结束后,每组随机取洛氏鲮 10 尾,在冰盘上进行活体解剖,迅速取其肝胰脏,-80 ℃保存备用。按照要求匀浆后,迅速使用相关试剂盒测定碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、超氧化物歧化酶(SOD)和溶菌酶(LZM)活性。试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,具体操作按照说明书进行。

1.4 统计分析

采用 SPSS 20.0 软件对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫指标数据进行方差分析,若差异性显著,进一步进行 Duncan's 多重比较,显著水平设定为 $P<0.05$,试验数据采用“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

从表 2 可以看出,在本试验条件下,洛氏鲮终末体质量、体质量增加率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率均随饲料中碳水化合物水平的升高呈先增加后降低的趋势,其中以 16.0%碳水化合物水平组最高,其洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率显著

($P<0.05$)高于对照组(CK)。碳水化合物水平对洛氏鲮饲料效率、蛋白质效率、脏体比、肝体比和饱满度均无显著影响($P>0.05$)。

本试验对饲料碳水化合物水平与洛氏鲮体质量增加率、特定生长率的关系进行折线模型拟合回归分析,结果发现,当体质量增加率、特定生长率达到最大时,饲料中碳水化合物最适水平分别为15.84%(图 1)和 15.94%(图 2)。

表 2 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

Table 2 Effects of carbohydrate levels on growth and feed utilization of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

饲料碳水化合物水平/% Carbohydrate levels	初始体质量/(g·尾 ⁻¹) Initial mean body weight	终末体质量/(g·尾 ⁻¹) Final mean body weight	体质量增加率/% Weight gain rate	饲料效率/% Feed efficiency ratio	蛋白质效率/% Protein efficiency ratio
0.0 (CK)	7.63±0.01 a	10.66±0.12 a	39.84±1.75 a	61.94±3.24 a	1.72±0.09 a
10.0	7.62±0.01 a	11.27±0.38 ab	47.89±4.80 ab	62.36±7.08 a	1.73±0.20 a
16.0	7.68±0.04 a	12.04±0.48 b	56.83±5.72 b	65.91±8.10 a	1.83±0.23 a
22.0	7.63±0.02 a	10.76±0.02 ab	40.94±0.29 ab	63.39±0.19 a	1.83±0.01 a
28.0	7.67±0.02 a	10.28±0.61 a	34.15±8.09 a	62.06±5.99 a	1.72±0.44 a

饲料碳水化合物水平/% Carbohydrate levels	特定生长率/% Specific growth rate	肝体比/% Hepatosomatic index	脏体比/% Viscerasomatic index	饱满度/% Condition factor
0.0 (CK)	0.56±0.02 ab	1.39±0.09 a	8.69±0.76 a	1.41±0.11 a
10.0	0.65±0.06 ab	1.40±0.15 a	8.52±0.59 a	1.39±0.10 a
16.0	0.75±0.06 b	1.40±0.03 a	8.82±0.64 a	1.33±0.13 a
22.0	0.57±0.01 ab	1.37±0.06 a	8.77±0.14 a	1.41±0.10 a
28.0	0.48±0.10 a	1.37±0.03 a	8.87±0.38 a	1.34±0.09 a

注:同列数据后标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Same lowercase letters indicate insignificant difference ($P>0.05$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

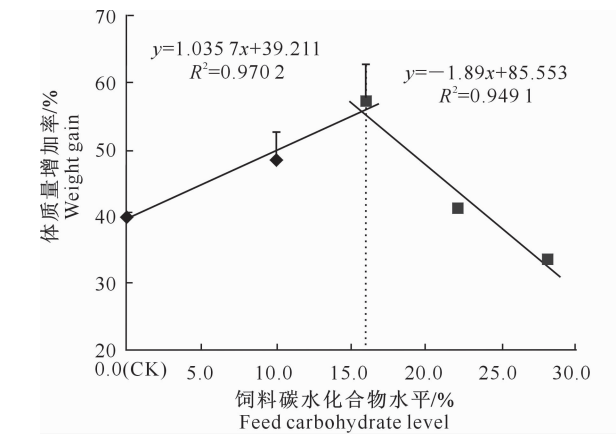


图 1 饲料碳水化合物水平与洛氏鲮体质量增加率关系的折线模型回归分析

Fig. 1 Relationship between feed carbohydrate level and weight gain rate of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski by corrugated line regression

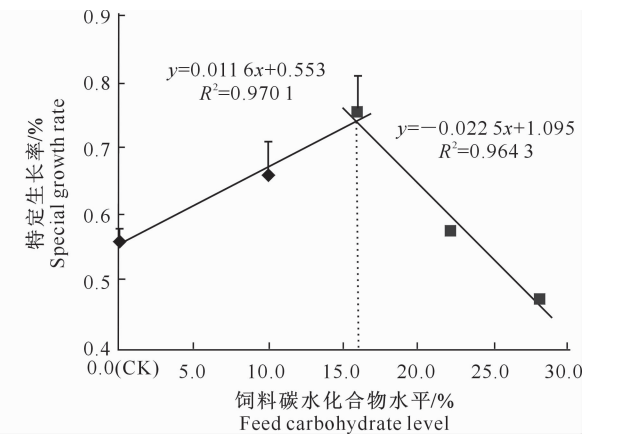


图 2 饲料碳水化合物水平与洛氏鲮特定生长率关系的折线模型回归分析

Fig. 2 Relationship between feed carbohydrate level and specific growth rate of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski by corrugated line regression

2.2 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

水平组洛氏鲮肌肉中粗脂肪含量显著高于对照组($P<0.05$),其他组与对照组差异不显著($P>0.05$);除 10.0%和 16.0%碳水化合物水平组粗蛋

表 3 表明,在本试验条件下,28.0%碳水化合物

白质含量与对照组差异不显著外,其他组显著低于对照组;饲料碳水化合物水平对洛氏鲮肌肉中水分

表 3 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

Table 3 Effects of feed carbohydrate levels on nutritional composition in muscle of <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski					%
饲料碳水化合物水平 Carbohydrate levels	水分 Moisture	粗脂肪 Crude lipid	粗蛋白 Crude protein	粗灰分 Ash	
0.0(CK)	77.47±0.18 a	2.21±0.36 a	17.88±0.18 a	1.65±0.12 a	
10.0	77.33±0.12 a	2.75±0.35 ab	17.78±0.09 a	1.54±0.40 a	
16.0	77.17±0.35 a	2.93±0.34 ab	17.83±0.09 a	1.47±0.30 a	
22.0	77.15±0.06 a	3.00±0.40 ab	17.28±0.06 b	1.45±0.10 a	
28.0	77.13±0.12 a	3.20±0.10 b	17.47±0.03 b	1.51±0.10 a	

2.3 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮非特异性免疫的影响

从表 4 可知,在本试验条件下,洛氏鲮肝胰脏的 AKP、LZM 和 ACP 活性,随饲料中碳水化合物的增加呈先上升后下降的趋势,AKP 和 ACP 活性除 10.0%碳水化合物水平组与对照组差异不显著外,

其他各组均显著高于对照组($P<0.05$);22.0%和 28.0%碳水化合物水平组肝胰脏的 LZM 活性显著高于对照组($P<0.05$),而 10.0%和 16.0%组 LZM 活性与对照组差异不显著($P>0.05$);SOD 活性随碳水化合物水平的升高而下降,且 10.0%,16.0%,22.0%,28.0%组显著低于对照组($P<0.05$)。

表 4 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮非特异性免疫的影响

Table 4 Effects of carbohydrate levels on non-specific immune indexes of <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski				
饲料碳水化合物水平/% Carbohydrate levels	AKP/(U·mL ⁻¹)	SOD/(U·mL ⁻¹)	LZM/(μg·mL ⁻¹)	ACP/(μg·mL ⁻¹)
0.0(CK)	0.26±0.01 c	157.31±2.54 a	73.59±1.81 a	0.04±0.01 a
10.0	0.27±0.01 c	133.01±1.37 b	78.07±4.00 a	0.03±0.01 a
16.0	0.49±0.01 a	122.37±2.40 c	80.85±7.68 a	0.37±0.05 c
22.0	0.47±0.02 a	109.12±1.85 d	97.31±7.65 b	0.31±0.02 c
28.0	0.28±0.02 b	105.57±1.45 d	84.40±5.12 b	0.16±0.01 b

3 讨 论

3.1 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

碳水化合物的主要营养生理作用是构成鱼体细胞组织,为鱼类生命活动提供能量。洛氏鲮为杂食性鱼类,与肉食性鱼类相比对碳水化合物的利用率较高。体质量增加率和特定生长率是衡量鱼类生长状况的指标,这 2 个指标增大说明鱼类生长较快。王菲等^[20]在对建鲤幼鱼(*Cyprinus carpio*var. Jian)的研究中表明,糖脂比从 2.3 升高至 7.7 时,鱼体质量增加率、特定生长率、蛋白质效率均明显上升。周华等^[21]对鲮(*Elopichthys bambusa*)幼鱼、肖金星等^[22]对黑鲮(*Acanthopagrus schlegelii*)幼鱼及谭肖英等^[23]对大口黑鲈的研究结果均表明,随着饲料中碳水化合物水平的增加,鱼体的体质量增加率、特定生长率和蛋白质效率均呈先增加后降低的趋势,这与本试验研究结果相似。本试验结果表明,洛氏鲮终末体质量及体质量增加率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率均随碳水化合物水平升高呈先增加后降低的趋势,其中以 16.0%组最高,这与折线回

归模型分析结果(当体质量增加率达到最大时,饲料中碳水化合物最适水平为 15.84%;当特定生长率达到最大时,饲料中碳水化合物最适水平为 15.94%)相符,表明洛氏鲮具有调节碳水化合物浓度的能力,能够适应饲料中添加适量的碳水化合物;而 22.0%和 28.0%组洛氏鲮体质量增加率和特定生长率呈下降趋势,说明鱼类摄食碳水化合物含量过高的饲料,会使其代谢紊乱,产生脂肪堆积,影响饲料的利用效率,降低生长性能,对鱼体健康产生影响^[24-25]。

3.2 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

鱼体肌肉营养成分通常可反映鱼类的营养水平和生理状态,易受饲料成分、饲养环境、饲喂技术等因素的影响^[26]。本试验结果表明,在洛氏鲮的配合饲料中,28.0%碳水化合物水平组洛氏鲮肌肉中的粗脂肪含量显著高于对照组,原因可能是碳水化合物通过糖酵解、三羧酸循环和呼吸链产生了 ATP,而碳水化合物多余的部分形成糖并进一步转化为脂肪。周传朋^[27]研究表明,日粮碳水化合物水平的增加使团头鲂(*Megalobrama ambycephala*)肌肉含量

中粗脂肪含量上升。Lee 等^[28]研究表明,碳水化合物水平对鱼体粗脂肪是有影响的。Gaye 等^[29]研究表明,尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)肌肉中粗脂肪含量随饲料中碳水化合物含量的增加而增加。吴凡等^[1]对罗非鱼(*Oreochromis* spp.)的研究表明,全鱼粗脂肪含量随饲料中碳水化合物升高而增加。上述研究结果与本试验结果相似。

3.3 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮非特异性免疫的影响

LZM 和 ACP 是机体内重要的免疫防御分子,是反映吞噬细胞吞噬病原菌能力的重要指标^[30]。LZM 可以破坏细菌的细胞壁,有抗菌消炎、提高吞噬活力的作用,是一种重要的非特异免疫因子^[31]。李强等^[32]对南方鲇(*Silurus meridionalis*)的研究表明,碳水化合物是南方鲇免疫功能的重要抑制因子,随着饲料中碳水化合物水平的增加,南方鲇的免疫功能受到抑制。Lin 等^[33]研究表明,随饲料碳水化合物水平的增加,点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)血清中溶菌酶活性随之降低,非特异性免疫功能显著下降。本试验结果表明,碳水化合物水平高于 22.0%,LZM 活力明显下降,碳水化合物水平高于 16.0%,ACP 活力明显下降,此时洛氏鲮的抗氧化免疫相关机能明显降低,自由基对正常细胞的损伤增强,机体抗病能力减弱。

SOD 是机体内重要的抗氧化酶,广泛存在于胞浆和线粒体基质中,可清除对机体有害的活性氧自由基。本试验中,洛氏鲮肝胰脏 SOD 活性随饲料中碳水化合物水平升高逐渐下降,且 10.0%,16.0%,22.0%和 28.0%组显著低于对照组($P<0.05$)。王广宇^[34]对翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)的研究表明,饲料碳水化合物水平从 0%增大到 31.0%,鱼血清中 SOD 水平呈下降趋势。蔡春芳^[35]对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)的研究结果表明,饲料中碳水化合物水平达 20%~40%时,鱼血清中的 SOD 活力与对照组相比出现明显下降趋势。这与本试验的研究结果相似,说明长时间摄食过量碳水化合物对机体的抗氧化能力有影响。

AKP 是体内吞噬细胞的标志调控酶。AKP 在机体内直接参与磷酸基团的转移、代谢,是维持机体健康的重要酶类^[36]。本研究结果表明,在本试验条件下,随着饲料中碳水化合物水平的增加,AKP 活性呈先上升后下降的趋势,16.0%组和 22.0%组显著高于对照组。周传朋^[27]对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的研究表明,血清中 AKP 活性呈先

上升后下降趋势,25.0%碳水化合物水平组达到最大。缪凌鸿^[36]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的研究表明,鱼血浆中 AKP 含量随碳水化合物水平的升高呈先上升后下降的趋势。这说明饲料中碳水化合物含量过高会对鱼体的调控酶产生影响,使其解毒能力降低。

3.4 洛氏鲮饲料中碳水化合物水平的确定

综合考虑饲料中碳水化合物水平对洛氏鲮生长及饲料利用、肌肉营养成分、非特异性免疫等指标的影响,在饲料蛋白含量为 360.0 g/kg、脂肪含量为 60.0 g/kg 的条件下,洛氏鲮幼鱼配合饲料中适宜的碳水化合物水平为 15.84%~15.94%。

[参考文献]

- [1] 吴凡,文 华,蒋 明,等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(12):8-14.
Wu F, Wen H, Jiang M, et al. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance and blood biochemical parameters of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40(12): 8-14.
- [2] Hemre G I, Mommsen T P, Krogdahl A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. Aquaculture Nutrition, 2002, 8: 175-194.
- [3] 罗艺平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展 [J]. 水产科学, 2010, 17(2): 381-390.
Luo Y P, Xie X J. Research progress of carbohydrate use in fish [J]. Chinese Journal of Aquaculture, 2010, 17(2): 381-390.
- [4] Leung L Y, Norman Y S. Influence of dietary carbohydrate level on endocrine status and hepatic carbohydrate metabolism in the marine fish *Sparus sarba* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2012, 38(2): 543.
- [5] Hidalgo M C, Sanz A, Gallego M G, et al. Feed of the European eel (*Anguilla anguilla*). Influence of dietary carbohydrate level [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1993, 105(1b): 165-169.
- [6] Wang J, Li X, Han T, et al. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth, feed utilization and body composition of juvenile grouper *Epinephelus akaara* [J]. Aquaculture, 2016, 459: 143-147.
- [7] Cowey C B, Adron J W, Brown D A. Studies on the nutrition of marine flatfish. The metabolism of glucose by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the effect of dietary energy source on protein utilization in plaice [J]. British Journal Nutrition, 1975, 33(2): 219-231.
- [8] Helland S J, Grisdale-Helland B. Growth, feed utilization and body composition of juvenile *Atlantic halibut* fed diets differing in the ratio between the macronutrient [J]. Aquaculture, 1998, 166: 49-56.

- [9] Wilson R P, Poe W E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary monoand disaccharides as energy sources [J]. J Nutr, 1987, 117: 280-285.
- [10] 张永泉, 白庆利, 徐伟, 等. 黑龙江流域绥芬河水系洛氏鲮个体繁殖力的研究 [J]. 水产学杂志, 2015, 28(1): 29-33.
Zhang Y Q, Bai Q L, Xu W, et al. Individual fecundity of minnow *Phoxinus lagowskii* Dybowski collected in suifen river in Heilong river valley [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2015, 28(1): 29-33.
- [11] 王茂林, 李保民, 姜玉声, 等. 本溪太子河流域洛氏鲮个体繁殖力研究 [J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(29): 28-32.
Wang M L, Li B M, Jiang Y S, et al. Rockwell minnow individual fertility study Taizi river in Benxi [J]. Journal of Yangtze University(Nat Sci Ed), 2013, 10(29): 28-32.
- [12] 张永泉, 徐伟, 席庆凯, 等. 洛氏鲮的人工繁殖 [J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2015, 42(4): 1-6.
Zhang Y Q, Xu W, Xi Q K, et al. The artificial propagation of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Journal of Anhui University(Nat Sci Ed), 2015, 42(4): 1-6.
- [13] 康鑫, 张远, 张楠, 等. 太子河洛氏鲮幼鱼栖息地适宜度评估 [J]. 生态毒理学报, 2011, 6(3): 310-320.
Kang X, Zhang Y, Zhang N, et al. Assessment of habitat suitability of juvenile *Phoxinus lagowskii* in Taizi river [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2011, 6(3): 310-320.
- [14] 张永泉, 尹家胜, 马波, 等. 温度和流速对洛氏鲮呼吸代谢的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(17): 1-9.
Zhang Y Q, Yin J S, Ma B, et al. Effects of temperature and water velocity on the respiratory metabolism and behavior of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(17): 1-9.
- [15] 祖岫杰, 刘艳辉, 刘铁钢, 等. 拉氏鲮人工繁殖与苗种培育技术研究 [J]. 水产养殖, 2015, 36(6): 9-12.
Zu X J, Liu Y H, Liu T G, et al. Study on artificial propagation and seedling cultivation techniques of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Aquaculture, 2015, 36(6): 9-12.
- [16] 骆小平, 李军, 金广海, 等. 拉氏鲮人工繁殖试验 [J]. 水产科学, 2013, 32(11): 673-675.
Luo X P, Li J, Jin G H, et al. Artificial propagation of fat minnow *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Aquatic Science, 2013, 32(11): 673-675.
- [17] 张永泉, 尹家胜, 杜佳, 等. 洛氏鲮肌肉某些营养成分分析和肉质蛋白质营养价值评价 [J]. 营养学报, 2013, 35(4): 406-410.
Zhang Y Q, Yin J S, Du J, et al. Analysis of some nutritional components and evaluation of muscle protein of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 35(4): 406-410.
- [18] 郭文学, 张永泉, 佟广香, 等. 黑龙江流域绥芬河水系野生洛氏鲮胚胎发育 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2530-2536.
Guo W X, Zhang Y Q, Tong G X, et al. Embryonic development of wild *Phoxinus lagowskii* Dybowski collected from Suifen river in Heilong river valley [J]. Journal of Ecology, 2015, 34(9): 2530-2536.
- [19] 邢秀苹, 杨欢欢, 韦庆勇, 等. 豆粕和膨化大豆粉对鲤鱼生长及其肌肉营养成分的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(12): 13-17, 28.
Xing X P, Yang H H, Wei Q Y, et al. Effects of soybean meal and expanded soy flour on growth performance and nutritional composition of carp [J]. Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 2015, 43(12): 13-17, 28.
- [20] 王菲, 李向飞, 李贵锋, 等. 不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响 [J]. 水产学报, 2015, 39(9): 1386-1394.
Wang F, Li X F, Li G F, et al. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, body composition, digestion and glycolysis of juvenile Jian carp [J]. Journal of Fisheries Science, 2015, 39(9): 1386-1394.
- [21] 周华, 樊启学, 宗克金, 等. 饲料碳水化合物水平对鲢幼鱼生长和体成分的影响 [J]. 水生生态学杂志, 2011, 32(3): 108-113.
Zhou H, Fan Q X, Zong K J, et al. Effects of dietary carbohydrate levels on the growth performance and body compositions of juvenile *Elopichthys bambusa* [J]. Journal of Water Ecology, 2011, 32(3): 108-113.
- [22] 肖金星, 李广经, 华颖, 等. 饲料碳水化合物水平对黑鲟幼鱼生长性能和血清生化指标的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 125-129.
Xiao J X, Li G J, Hua Y, et al. Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance and serum biochemical indexes of *Acanthopagrus schlegelii* juvenile [J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 125-129.
- [23] 谭肖英, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饲料碳水化合物水平对大口黑鲈生长、鱼体营养成分组成的影响 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(S): 258-263.
Tan X Y, Liu Y J, Tian L X, et al. Effects of dietary carbohydrate levels on growth, nutrient composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Journal of Sun Yatsen University(Nat Sci Ed), 2005, 44(S): 258-263.
- [24] Enes P, Panserat S, Kaushik S, et al. Effect of normal and waxy maize starch on growth, food utilization and hepatic glucose metabolism in European sea bass(*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2006, 143(1)b: 89-96.
- [25] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K. Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses [J]. Aquaculture, 2003, 225: 3-16.
- [26] Roubaty C, Portmann P. Relation between intestinal alkaline phosphatase activity and brush border membrane transport of inorganic phosphate, D-glucose and D-glucose-6-phosphate [J]. Pflügers Archiv European Journal of Physiology, 1988, 412: 482-490.

液学和血清生化指标的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(3): 256-259.

Lao X F,Cao Z,Tang L P,et al. Effects of selenium enriched privet fruit on productive performance,hematology and serum biochemical parameters [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016,44(3):256-259.

[22] 石莉莎,单安山,张 玮,等. 女贞子对蛋鸡育成期生长发育和免疫功能的影响 [J]. 东北农业大学学报,2009,40(10):79-84.

Shi L S,Shan A S,Zhang W,et al. Effects of *Ligustrum lucidum* on growth,development and immune function in laying hens [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2009, 40(10):79-84.

[23] 梁春衡,李海金,陈南云,等. 家禽主要细菌病中草药新制剂的研究与应用 [J]. 广东畜牧兽医科技,2000,22(2):21-24.

Liang J H,Li H J,Chen N Y,et al. Research and application of new Chinese herbal medicine for poultry main bacterial diseases [J]. Guangdong Animal Husbandry and Veterinary Science and Technology,2000,22(2):21-24.

[24] 周 明,汪炳红,周书苑,等. 麻黄复方制剂在育肥猪中应用效 果的试验研究 [J]. 经济动物学报,2016,20(1):40-43.

Zhou M,Wang B H,Zhou S Y,et al. Experimental study on effect of ephedra compound preparation in fishing pigs [J]. Journal of Economic Animal,2016,20(1):40-43.

[25] 周 明. 饲料学 [M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2010.

Zhou M. Feed science [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press,2010.

[26] 王 欢,周 明,邢立东,等. 犊牛功能性饲料添加剂的研制及其应用效果 [J]. 安徽农业大学学报(自然科学版),2015,42 (2):213-217.

Wang H,Zhou M,Xing L D,et al. Development and applica- tion effect of functional feed additive for calves [J]. Journal of Anhui Agricultural University (Natural Science Edition), 2015,42(2):213-217.

[27] 娄 艳,陈志良,王春霞. 齐墩果酸对更年期大鼠作用的实验 研究 [J]. 中药材,2005,28(7):584-587.

Lou Y,Chen Z L,Wang C X. Experimental study on the effect of oleanolic acid on climacteric rats [J]. Traditional Chinese Medicinal Materials,2005,28(7):584-587.

(上接第 26 页)

[27] 周传朋. 不同水平碳水化合物日粮对团头鲂生长、免疫及相关 糖代谢酶的影响 [D]. 南京:南京农业大学,2012.

Zhou C P. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance,immunity and carbhydrate metabolic en- zymes in wuchang bream(*Megalobrama ambycephala*) [D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2012.

[28] Lee S M, Lee J H. Effect of dietary glucose,dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platrichthys stellatus* [J]. Fisheries Sci,2004,70(1):53-58.

[29] Gaye S J,Fock EN U,Becker K. Effects of dietary protein/ carbohydrate ratio on activities of hepatic enzymes involved in the amino acid metabolism of Nile tilapia,*Oreochromis nloticus* (L) [J]. Fish Physid Biochem,2006,32:275-282.

[30] 周小秋,冯 林,姜维丹,等. 营养与鱼类免疫研究进展 [J]. 动物营养学报,2014,26(10):3175-3184.

Zhou X Q,Feng L,Jiang W D,et al. Advanced research in nu- trition and fish immunity [J]. Journalof Animal Nutrition, 2014,26(10):3175-3184.

[31] Fernandez T M A,Bejar J,Gallardo J B,et al. Molecular clo- ning and characterization of C-type lysozyme from Senegalese sole(*Solea senegalensis*) [J]. Aquaculture,2007,272(S1): 255.

[32] 李 强,谢小军,罗毅平,等. 饲料淀粉水平对南方鲇免疫的影 响 [J]. 水生生物学报 2007,31(4):557-562.

Li Q, Xie X J,Luo Y P,et al. Effect of dietary starch level on immunity in the southern catfish [J]. Journal of Hydrobiolo- gy,2007,31(4):557-562.

[33] Lin Y H,Shiau S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinehelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. Aquaculture,2003,225:243-250.

[34] 王广宇. 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长、血液指标及 GK、G6Pase、HSC70 基因表达的影响 [D]. 南京:南京农业大 学,2009.

Wang G Y. Effects of carbohydrate levels in diets on growth, serum parameters and GK,G6Pase,HSC70 gene expression in topmouth culter(*Erythroculter ilishaeformis* Blecker) [D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2009.

[35] 蔡春芳. 青鱼和鲫对饲料糖的利用及其代谢机制的研究 [D]. 上海:华东师范大学,2004.

Cai C F. Study on the utilization of dietary carbohydrate by *Mylopharyngodon piecus* Richardson and *Carassius auratus* and their mechanism of metabolism [D]. Shanghai:East China Normal University,2004.

[36] 缪凌鸿. 高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生产性能、免疫及 应激蛋白 HSP70 的影响 [D]. 广州:华南农业大学,2009.

Miao L H. Effect of high carbohydrate levels in the dietary on growth performance,immunity and HSP70 of *Carassius aura- tus* gibelio [D]. Guangzhou:South China Agricultural Univer- sity,2009.